Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 5, Dec- Jan 2022, p. 648-656

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۵، آذر - دی ۱۴۰۱ ص.۶۵۶-۶۴۸

Homepage: http://ifstrj.um.ac.ir

Full Research Paper

Effect of batch dryer with agitator and moisture controller on drying paddy and milling factor

Asefeh Latifi*[1], Mohammadali Kiehbadroudinezhad[2], Mohamadreza Alizadeh[3]

Received: 2021.06.27
Revised: 2021.11.06
Accepted: 2021.11.16
Available Online: 2021.11.16

How to cite this article:
Latifi, A., Kiehbadroudinezhad, M., Alizadeh, M. (2022). Effect of batch dryer with agitator and moisture controller on drying paddy and milling factor. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18 (5), 648-656.

Abstract

Introduction: Non-uniformity of dried paddy using conventional batch type dryer is one of the important factors on rice breakage and losses in milling operations in Iran. For optimizing drying process, a laboratory batch type paddy dryer with agitator and automatic moisture controller was designed and fabricated. The performance of the dryer was evaluated after fabrication.

Materials and Methods: The experimental variables were dryer type in two levels (batch dryer with agitator and batch dryer without agitator) and paddy variety in four levels (Hashemi, Gohar, Tarom and Shirodi). The time of drying, drying rate, milling yield, head rice yield, track percentage and whiteness, was conducted in factorial layout based on completely randomized design with three replications.

Results and Discussion: The results obtained revealed that the drying time from initial paddy moisture content (average of 14.2 %) to final moisture content (about 8.5 %) lasted about 14.2 h and 43.1 h in batch dryer with and without agitator, respectively. The average drying rate in batch dryer without agitator for all varieties was 0.135%.h^{-1} and that of the batch dryer with agitator was 0.412%.h^{-1}. There was a significant effect of dryer type on milling recovery and head rice yield ($P<0.01$) of different variety ($P<0.05$). The highest milling recovery and head rice yield was determined in Hashemi (69.16 and 87.66 %, respectively) and the lowest corresponding values were registered in Shirodi (62.16 and 57.83 %, respectively). The head rice yield in batch dryer without and with agitator was found to be 67.91 % and 73.16 %, respectively. There was non-significant difference between percentages of track in two types of dryers. The rice whiteness of Hashemi variety dried with batch dryer with agitator (50.46 %) was significantly ($P<0.01$) higher than the rice whiteness in batch dryer without agitator (46.10 %), however there was non-significant difference between the means of rice whiteness in the other paddy varieties in the two tested dryers.

Fabrication and installation of dryer with agitator and automatic moisture controller has benefit of saving time of drying to one third and increasing head rice yield to 5% compare with traditional paddy dryer.

Keywords: Paddy dryer, Drying rate, Head rice yield, Whiteness.

1. PhD, Department of food science and technology, Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Mazandaran branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran.
2. Graduate researcher, Dalhousie University, Halifax, NS, Canada.
3. PhD, Department of agricultural Machinery, Associate Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
(*Corresponding Author Email: asefeh59@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.2021.71130.1068

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 5, Dec- Jan 2022, p. 648-656

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۱ ص.۶۵۶-۶۴۸

مقاله علمی-پژوهشی

تاثیر استفاده از خشک‌کن خوابیده همزن‌دار با سیستم کنترل رطوبت بر فرایند خشک‌کردن شلتوک و فاکتورهای تبدیل

عاصفه لطیفی[۱*]- محمدعلی کیه بادرودی‌نژاد[۲]- محمدرضا علیزاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵

چکیده

غیریکنواختی در خشک کردن شلتوک با استفاده از خشک‌کن بستر خوابیده متداول درکارخانه‌های شالیکوبی یکی از عوامل مؤثر بر افزایش درصد شکستگی برنج و ضایعات در مرحله تبدیل محسوب می‌شود. به‌منظور بهینه‌سازی فرایند خشک کردن، یک دستگاه خشک‌کن بسترخوابیده مجهز به همزن و سیستم کنترل خودکار رطوبت شلتوک در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد و کارایی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیرهای آزمایش، نوع خشک‌کن در دو سطح (مجهز به همزن و سیستم کنترل رطوبت (خشک‌کن هوشمند) و بدون همزن (رایج)) و نوع شلتوک در چهار سطح (طارم هاشمی، گوهر، طارم محلی و شیرودی) بودند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد، زمان خشک کردن شلتوک از رطوبت ۱۴/۲ درصد به رطوبت ۸/۵ درصد در خشک‌کن رایج به‌طور میانگین ۴۳/۱ ساعت و با خشک‌کن هوشمند ۱۴/۲ ساعت به طول انجامید. میانگین نرخ خشک کردن برای چهار رقم در خشک کن خوابیده ۰/۱۳۵ و در خشک‌کن هوشمند ۰/۴۱۲ درصد بر ساعت بوده است. اثر رقم بر راندمان تبدیل و راندمان برنج سالم ($p<0/01$) و اثر نوع خشک‌کن بر راندمان برنج سالم ($p<0/05$) معنی‌دار بود. بیشترین راندمان تبدیل و راندمان برنج سالم در رقم هاشمی (به‌ترتیب ۶۹/۲ و ۸۷/۷ درصد) و کمترین آن در رقم شیرودی (به‌ترتیب ۶۲/۲ و ۵۷/۸ درصد) به‌دست آمد. راندمان برنج سالم در خشک‌کن رایج به‌طور میانگین ۶۷/۹ درصد و در خشک‌کن هوشمند ۷۳/۲ درصد تعیین شد. نوع خشک‌کن تاثیر معناداری بر سفیدی رنگ ارقام نداشت. از بین چهار رقم فقط طارم هاشمی سفیدی رنگ بیشتری در خشک‌کن هوشمند نشان داد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کن شلتوک، درجه سفیدی، راندمان برنج سالم، نرخ خشک کردن

مقدمه

شلتوک در فصل برداشت رطوبتی بین ۱۸- ۲۶ درصد دارد. برای جلوگیری از فساد باید رطوبت آن کم شود تا بدین وسیله تنفس کاهش یابد و فعالیت کپک‌ها محدود شود. برای نگهداری طولانی مدت رطوبت شلتوک باید به حداقل ۱۴٪ و برای تبدیل به برنج سفید به ۱۱٪ برسد (Hall, 1970). ضایعات مربوط به عملیات تبدیل شلتوک به برنج سفید بخش قابل توجهی از ضایعات برنج در فرآیند پس از برداشت را تشکیل می‌دهد. عواملی مانند روش‌های خشک‌کردن، نوع سیستم تبدیل و تنظیمات آن‌ها، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصول (رقم) از جمله مواردی هستند که نقش به‌سزایی برکیفیت تبدیل شلتوک ایفاء می نمایند. در چرخه تولید محصولات کشاورزی و غذایی، خشک کردن مرحله‌ای بحرانی محسوب می‌شود. زیرا طبق تحقیقات انجام شده، مهمترین عامل ضایعات غلات، ناشی از خشک کردن نادرست آنها است (Brooker et al., 1992). طبق نظر Battacharya (۱۹۸۰) عواملی که باعث ایجاد ضایعات طی عملیات تبدیل شلتوک به برنج سفید می‌شوند را می‌توان به دو عامل دستگاهی و رقمی (مربوط به محصول) تقسیم‌بندی نمود. این دو عامل مستقل از یکدیگر نبوده و هر یک بر دیگری تاثیرگذار می‌باشند (Battacharya, 1980). شلتوک برنج به عنوان یک ماده بیولوژیک حساس به حرارت، نسبت به عملیات خشک‌کردن از خود واکنش نشان می‌دهد و دچار تغییرات کیفی همچون ترک خوردگی و کاهش عطر و طعم می‌شود (Zheng and Lan, 2007). Fan و همکاران (۲۰۰۰) اثرات رطوبت زمان برداشت، رقم و شرایط

۱- دکتری صنایع غذایی، هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
۲- دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم-انرژی های تجدیدپذیر، محقق گروه برق و کامپیوتر دانشگاه دالهوزی کانادا.
۳- محمدرضا علیزاده، دکتری ماشین آلات کشاورزی، هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور.
* - نویسنده مسئول: Email: asefeh59@yahoo.com
DOI: 10.22067/ifstrj.2021.71130.1068

خشک کردن با هوای گرم را برکاهش درصد برنج سفید سالم ارقام دانه بلند و متوسط بررسی کردند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که رقم، رطوبت دانه در زمان برداشت، نحوه و مدت زمان خشک کردن اثرات معنی‌داری بر کاهش درصد برنج سفید سالم داشته است (Fan et al., 2000). Mondoza و Rigor (۱۹۸۳) اثر توأم دما و زمان خشک کردن را بر ترک خوردگی دانه مورد بررسی قرار دادند و اعلام نمودند که دما و زمان خشک کردن بیشترین اثر را بر ترک‌خوردگی دانه نسبت به سایر پارامترها همچون سرعت هوا، رقم شلتوک و رطوبت اولیه محصول دارند (Mondoza and Rigor, 1983). Zhang و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیقات خود نشان دادند، مقاومت و انرژی شکست دانه با کاهش محتوای رطوبت به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند (Zhang et al., 2002). طی این بررسی مشخص شد که مهمترین عامل تاثیرگذار بر شکنندگی دانه، دما و در مرحله بعدی رطوبت نهایی محصول می‌باشد. Kent (۱۹۸۲) طی تحقیقات خود نشان داد، میزان مطلوب خشک شدن دانه به نوع رقم، رطوبت اولیه و درجه حرارت دانه، درجه حرارت محیط، رطوبت نسبی و روش خشک کردن بستگی دارد (Kent, 1982). چنانچه رطوبت سطحی سریعاً کاهش یابد، به دلیل انتقال آب از بخش-های داخلی دانه به سطح آن، لایه‌های بیرونی چروکیده و منقبض شده و در اثر به‌کارگیری درجه حرارت بالا طی عملیات خشک کردن، انبساط ناشی از فشار درونی با رطوبت‌های مختلف باعث افزایش شکستگی در فرآیند تبدیل، به ویژه طی عملیات سفید کردن می‌گردد.

تحقیقات آکادمیک زیادی در مورد انواع خشک‌کن‌ها از جمله بستر سیال، مادون قرمز، ماکروویو و انواع خشک‌کن‌های گردشی صورت گرفته است و دماهای مختلف خشک کردن از ۳۰ تا ۱۵۰ درجه بسته به نوع خشک‌کن و رطوبت اولیه شلتوک استفاده شده و تاثیر آنها بر راندمان برنج سفید و کیفیت مورد بررسی قرار گرفته است (Aquerreta et al., 2007; Iguaz et al., 2006; Pan et al., 2008). Mehdizadeh و Zomorrodian (۲۰۰۸) از خشک‌کن خورشیدی آزمایشگاهی لایه نازک برای خشک کردن شلتوک در دمای ۵۰ درجه و مقایسه آن با خشک کردن به روش طبیعی در آفتاب استفاده نمودند. نتایج حاکی از کاهش چشمگیر زمان خشک کردن و عدم تاثیر بر فاکتورهای تبدیل و سفیدی رنگ بیشتر در خشک‌کن خورشیدی بود (Mehdizadeh and Zomorrodian, 2008). Tahmasbi و همکاران (۲۰۰۸) خشک‌کن شلتوک با سینی لرزان آزمایشگاهی را طراحی و شرایط خشک کردن شلتوک در آن را در مقایسه با خشک‌کن ستونی مقایسه نمودند. با وجود کاهش چشمگیر زمان خشک کردن در خشک‌کن سینی لرزان، درصد شکستگی در آن بالا بود که بیان شده بود با کنترل نحوه لرزش سینی می‌توان میزان شکستگی را کاهش داد (Tahmasbi et al., 2008).

خشک‌کن‌های کاربردی در صنعت برنج در ایران همچنان خشک کن‌های مخزنی یا بستر ثابت خوابیده و تا حد کمتری خشک‌کن‌های ایستاده جریان گردشی می‌باشند. خشک‌کن‌های بستر خوابیده متداول دارای ظرفیت های متفاوت از ۳ تا ۶ تن می‌باشند که شلتوک تا عمق حدود یک متر در مخزن بارگیری می‌شود و هوای گرم ورودی از زیر صفحه مشبک به داخل مخزن شلتوک دمیده می‌شود. کاهش بیش از حد رطوبت شلتوک در این سیستم‌ها عامل مهمی در افزایش ضایعات محسوب می‌شود. از آنجایی که معیار پایان عملیات خشک کردن در این نوع خشک‌کن‌ها، رطوبت دانه‌های مستقر در لایه‌های سطحی خشک‌کن می‌باشد، لذا اپراتورها برای رساندن رطوبت شلتوک به محدوده مورد نظر، در مرحله پایانی عملیات خشک کردن، درجه حرارت خشک‌کن را افزایش می‌دهند. افزایش درجه حرارت در این مرحله باعث می‌شود، شلتوک‌های مستقر در لایه‌های پائینی خشک‌تر از شلتوک‌های مستقر در لایه‌های بالایی باشند (Tajadoditalab, 2010). خشک-شدن بیش از حد سبب ایجاد ترک در دانه شده و این ترک‌ها مقاومت دانه به شکست را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهند (Siebenmorgen et al., 2005). اگرچه کاهش عمق شلتوک در مخزن تا ۴۰ سانتی‌متر و یا کنترل دبی و دمای هوای ورودی از روش-های کاهش تنش وارده بر دانه در این روش محسوب می‌شود (Sabori, 2001)، ولی در اغلب کارخانه‌های شالیکوبی کنترل دقیقی بر فرایند خشک کردن در خشک‌کن‌های بسترخوابیده وجود ندارد و این امر موجب کاهش راندمان خشک‌کن و افزایش درصد شکستگی برنج در مرحله تبدیل می‌شود.

انواع خشک‌کن‌های جریان گردشی برای بهبود عملیات خشک کردن و تبدیل نیز طراحی شده است. استفاده از خشک‌کن جریان گردشی سبب یکنواختی عملیات خشک کردن می‌شود (Kocsis et al., 2011). Gazor و Moumeni (۲۰۱۹) فرایند خشک کردن و کیفیت تبدیل شلتوک رقم طارم را در دو نوع خشک‌کن جریان گردشی و بسترخوابیده رایج مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق مورد نظر درصد شکستگی دانه در خشک‌کن جریان گردشی ۵٪ کمتر از خشک‌کن رایج خوابیده و زمان خشک شدن نیز به نصف کاهش یافته بود (Moumeni and Gazor, 2019). Gharnasi Gharavi و همکاران (۲۰۱۷) فرایند خشک کردن در یک خشک‌کن آزمایشگاهی دوار را با استفاده از روش سطح پاسخ بر اساس کمترین زمان خشک کردن و کمترین میزان درصد شکستگی و ترک در دامنه مختلف دمایی از ۴۰ تا ۸۰ درجه، سرعت‌های چرخش مختلف و میزان پر بودن مخزن بهینه نمودند (Gharnasi Gharavi et al., 2017). بر این اساس دمای ۵۶ درجه، سرعت چرخش استوانه ۱۰ دور بر دقیقه و میزان پر بودن استوانه ۵۴ درصد به‌دست آمد. البته در تحقیق آنها به رطوبت اولیه شلتوک ورودی

اشاره نشد زیرا به‌دست آوردن دمای مناسب در خشک کردن تک مرحله‌ای شلتوک وابستگی زیادی به رطوبت اولیه آن دارد. هرچه رطوبت اولیه رقمی بالاتر باشد حساسیت به دمای بالا در خشک کردن بیشتر می‌شود که علت آن عبور مکرر از منحنی دمای انتقال شیشه‌ای است. محدوده دمایی امن برای خشک کردن یک مرحله‌ای دمای زیر ۵۰ درجه می‌باشد. از اینرو کارخانه‌های شالیکوبی داخل کشور نیز به طور تجربی از دمای ۳۰ تا ۵۵ درجه استفاده می‌نمایند (Latifi, 2011). Gazor و Alizadeh (۲۰۲۰) نیز تأثیر خشک‌کن دوار بر خشـــک کردن شلتوک رقم هاشمی را در مقایسه با خشک‌کن خوابیده بررسی نمودند. در تحقیق آنها بیان شده بود به دلیل پایین بودن رطوبت اولیه نمونه‌ها تغییر چندانی در زمان خشک کردن در خشک‌کن دوار نسبت به خوابیده بوجود نیامده بود و پیش‌بینی شده بود در صورت بالا بودن رطوبت اولیه شلتوک، زمان در خشک‌کن دوار کاهش می‌یافت. با این حال درصد شکستگی در خشک‌کن دوار ۷٪ کمتر شده بود (Alizadeh and Gazor, 2020).

در این تحقیق به‌منظور بهینه‌سازی خشک‌کن بستر خوابیده متداول در کارخانه‌های شالیکوبی، از پاروهای (همزن) با طرح خاص برای بهم زدن شلتوک استفاده شده است، تا از این طریق ضمن کاهش مدت زمان خشک‌کردن (افزایش نرخ خشک‌کنی)، یکنواختی در خشک کردن محصول را افزایش داد. علاوه بر این، جابجایی شلتوک در مخزن به گونه‌ای انجام شود که ضمن هم‌زدن یکنواخت محصول، آسیب‌های مکانیکی وارد بر دانه نیز به حداقل برسد. لذا این تحقیق با هدف ارزیابی کارایی دو نوع خشک‌کن بستر خوابیده بدون همزن (رایج) و خشک‌کن خوابیده مجهز بـه همـزن و سیستم کنترل رطوبت (هوشمند) از نظر مدت زمان و نرخ خشکاندن شلتوک، خواص تبدیل و درجه سفیدی مورد اجرا قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۳ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور معاونت مازندران انجام شد. شلتوک مورد نیاز شامل ارقام محلی (طارم هاشمی و طارم محلی) و اصلاح شده (گوهر و شیرودی) به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم از هر رقم از موسسه تحقیقات برنج تهیه شد. قبل از انجام آزمایش، کلیه ناخالصی‌ها با استفاده از بوجار شلتوک جدا شد. رطوبت اولیه شلتوک با استفاده از رطوبت‌سنج غلات (MK303، کره جنوبی) تعیین گردید. بر این اساس، رطوبت اولیه شلتوک برای ارقام شیرودی، طارم، هاشمی و گوهر به‌ترتیب ۱۴/۲، ۱۴/۶، ۱۴/۳ و ۱۴ درصد بر پایه تر بود. شلتوک هر رقم به دو قسمت تقسیم شد و یک قسمت آن برای خشک‌کن بستر خوابیده رایج و قسمت دیگر برای خشک‌کن بسترخوابیده مجهز به همزن و کنترل رطوبت (هوشمند) در نظرگرفته شد و مراحل خشک‌کردن شلتوک‌ها در هر دو خشک‌کن در دمای ۲± ۴۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت تقریبی ۸/۵ درصد ادامه یافت.

مشخصات فنی خشک‌کن بستر خوابیده مجهز به همزن (هوشمند)

قسمت‌های مختلف خشک‌کن بسترخوابیده مجهز به همزن شامل مخزن خشک‌کن، همزن‌ها، موتور راه انداز همزن‌ها، صفحه مشبک، سیستم حرارتی، سیستم انتقال مواد و حسگرها می‌باشند که در زیر در هر مورد به‌طور خلاصه شرح داده می‌شود. خشک‌کن سنتی همین سیستم بدون همزن و سنسورها می‌باشد (شکل ۱).

بدنه خشک‌کن

بدنه خشک‌کن مورد آزمایش از جنس ورقه‌های PVC ساخته شده است. این ورقه‌ها به دلیل سبک بودن، استحکام، قیمت و عایق حرارتی مناسب دارای مزایایی نسبت به دیگر ورقه‌ها همچون چوب و آهن می‌باشد. ورقه‌های PVC از چند لایه متصل به یکدیگر تشکیل شده‌اند.

همزن‌ها

به‌منظور انتقال حرارتی یکنواخت داخل خشک‌کن و لایه‌های شلتوک، از همزن استفاده شده است. حرارت از قسمت پایین محفظه خشک‌کن بسترخوابیده و توسط فن به قسمت‌های زیرین توده شلتوک دمیده می‌شود. همزن‌ها در سه محور عرضی وظیفه زیر و رو کردن و جابه‌جا کردن توده شلتوک‌های لایه زیرین و انتقال آن را به قسمت بالا و برعکس را انجام می‌دهند. جنس این همزن‌ها که با آرایش خاصی نسبت به هم بر روی سه محور عرضی قرارگرفته‌اند، از صفحات پلی اتیلن وینیل بوده که این صفحات دارای منافذی بین لایه‌های تشکیل دهنده آن می‌باشد و در هنگام تماس با توده شلتوک و قرارگرفتن در دمای بالا به دلیل ساختمان خاص و مقاوم آن نسبت به ضربه و حرارت بالا، سبب آسیب رساندن به دانه شلتوک نمی‌شود. از دیگر مزایای این نوع ورقه‌ها می توان به انعطاف‌پذیری بالا و استحکام ضربه‌ای مناسب آن اشاره کرد. این همزن‌ها درون محورهایی توخالی و در حال چرخش قرار گرفته‌اند و با استفاده از لوله‌هایی، هوای گرم پایین مخزن را به درون این محورها منتقل کرده و هوای گرم پس از جریان یافتن در سرتاسر این محور به درون همزن‌ها گسترش می‌یابد و از طریق آن به لایه‌های شلتوک هدایت می‌شود تا به انتقال حرارت و خشک‌شدن یکنواخت شلتوک کمک کند.

موتور راه‌انداز همزن‌ها

جهت راه‌اندازی و به حرکت درآوردن سه محور عرضی همزن‌ها از یک موتور جعبه دنده‌ای تک‌فاز با توان چهار اسب بخار استفاده شده است. این موتور با استفاده از تسمه و پولی به محور همزن‌ها متصل شده است و موجب به حرکت درآوردن این محورها با سرعت گردشی می‌شود. سرعت چرخشی خروجی محور همزن‌ها دو دور بر دقیقه لحاظ شده است.

صفحه مشبک

هوای گرم از محفظه زیرین خشک‌کن بسترخوابیده از صفحه مشبک فلزی دو میلی‌متری عبورکرده و با جریان آن به سمت بالا از بین لایه‌های شلتوک داخل مخزن عبور می‌کند همچنین در خشک‌کن مجهز به همزن، علاوه بر جریان هوا از زیر صفحه مشبک، هوای گرم از طریق سوراخ‌هایی که در دیواره محور تو خالی ایجاد شده است، به هنگام زیر و رو کردن شلتوک‌ها به داخل توده شلتوک جریان می‌یابد.

سیستم حرارتی

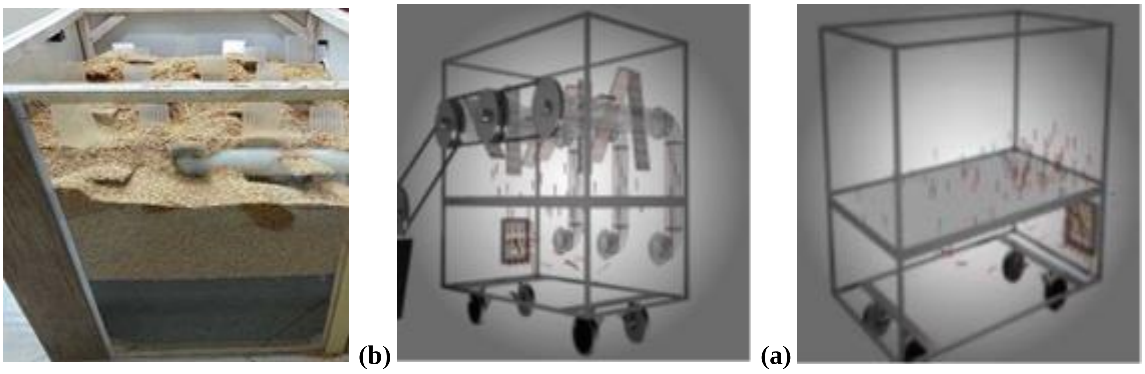
برای گرم‌کردن محفظه زیر خشک‌کن از ۴ المنت میله‌ای که توان هر کدام ۷۰۰ وات بود، استفاده شده است که با استفاده از یک فن صنعتی ۱۴ ×۱۴ سانتی‌متر و ۱۲۰۰ دور بر دقیقه هوای گرم به سرتاسر زیر خشک‌کن بسترخوابیده دمیده می‌شود. همچنین، با استفاده از سه دمنده، هوای گرم به‌طور یکنواخت و با سرعت یکسان به داخل هر سه محور عرضی توخالی دمیده و سپس از طریق همزن‌ها به لایه‌های شلتوک منتقل می‌شود.

سیستم انتقال مواد

در روش سنتی پس از خشک شدن شلتوک کارگران با پارو چوبی و دیگر وسایل اقدام به تخلیه از خشک‌کن می‌نمایند که این عمل منجر به آسیب رساندن به شلتوک‌ها و افزایش ضایعات برنج می‌شود. همچنین احتمال مخلوط‌شدن ناخالصی‌ها مانند سنگ و کلوخ با شلتوک وجود دارد. در خشک‌کن بسترخوابیده مجهز به همزن، با بازکردن دریچه قسمت پشتی مخزن و همزمان با چرخش همزن، شلتوک به بیرون از مخزن تخلیه می‌شود.

حسگرها

در این نوع خشک‌کن از سه نوع حسگر رطوبت، دما و اولتراسونیک استفاده شده است. میزان رطوبت شلتوک درون مخزن با استفاده از سه عدد حسگر رطوبت سنج خازنی سه میکرو فارادی اندازه‌گیری شده است که به شکل مثلثی داخل این دستگاه نصب شده است. همچنین دمای شلتوک درون دستگاه نیز با استفاده از شش عدد سنسور مقاومتی ۱۲ اهمی که به شکل ستاره ای درون این دستگاه نصب گردیده، اندازه گیری شده است.



(a) (b) (c)

شکل ۱- نحوه عبور جریان هوای گرم از خشک‌کن رایج (a)، از خشک‌کن هوشمند (b) و خشک‌کن هوشمند با شلتوک (c)

Fig. 1. Passing of warm weather through tradition dryer (a) intelligence dryer (b) intelligence dryer with paddy (c)

پارامترهای اندازه‌گیری‌شده

مدت زمان خشک‌شدن شلتوک تا رسیدن به رطوبت مورد نظر و نرخ خشک‌شدن شلتوک (آهنگ کاهش رطوبت در ساعت‌های مختلف خشک‌کردن بر حسب درصد کاهش رطوبت بر ساعت) بررسی شد. تبدیل شلتوک‌ها به برنج سفید توسط دستگاه پوست‌کن غلطک لاستیکی و سفیدکن سایشی آزمایشگاهی مارک ساتاکه ژاپن در سه تکرار ۲۵۰ گرمی انجام گرفت. آزمون‌ها شامل اندازه‌گیری درصد راندمان تبدیل که نسبت وزن برنج سفید به وزن شلتوک (Soponronnarit et al., 2008)، درصد راندمان برنج سالم که شامل وزن برنج سفید سالم به وزن کل برنج سفید بود و درجه سفیدی با سفیدی‌سنج Whitness Tester Kett C_{100} ژاپن که سفیدی جسم استاندارد را ۸۷/۳ نشان می‌دهد، اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به‌منظور بررسی عملکرد و کارایی خشک‌کن بستر خوابیده متداول و مقایسه آن با خشک‌کن هوشمند، آزمایشی به صورت فاکتوریل با دو فاکتور رقم در چهار سطح (دو رقم محلی طارم هاشمی و طارم محلی و دو رقم اصلاح شده گوهر و شیرودی) و نوع خشک‌کن در دو سطح (رایج و هوشمند) در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم‌افزار آماری $SPSS_{20}$ و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات تبدیل و کیفی به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آمده است. مطابق جدول ۱ اثر رقم بر راندمان تبدیل معنادار شد. بالاترین راندمان تبدیل مربوط به رقم طارم هاشمی و کمترین مربوط به رقم شیرودی بود (جدول ۲). راندمان تبدیل ارقام تا حدود زیادی وابسته به نوع رقم و خصوصیات فیزیکی آن می‌باشد و عوامل محیطی از قبیل درجه حرارت و رطوبت تبدیل تا حدی تاثیرگذارند (Alizadeh and Habibi, 2016).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر رقم و نوع خشک‌کن بر فاکتورهای تبدیل و کیفی

Table 1- Aanalize of variance effect of variety and dryer on milling factor

Sig.	Treatment	Parameter
0.000**	Variety	**Milling recovery**
0.832ns	Dryer	**راندمان تبدیل**
0.807ns	dryer×variety	
0.000**	Variety	**Head rice yield**
0.034ns	Dryer	**راندمان برنج سالم**
0.418ns	dryer×variety	
0.711ns	Variety	**Track percentage**
0.671ns	Dryer	**درصد ترک**
0.433ns	dryer×variety	
0.000**	Variety	**Whitness**
0.204ns	Dryer	**درجه سفیدی**
0.005*	dryer×variety	

*significant at the 0.05 level, ** significant at the 0.01 level, ns not significant

جدول ۲- مقایسه میانگین فاکتورهای تبدیل و کیفی

Table 2- Mean comparison of milling factor

Whitness	Track %	%Head rice yield	%Milling recovery	Treatment
				Variety
56.7a	14.7a	57.8c	62.2c	**Shiroodi**
54.2b	15.7a	62.5c	66.7b	**Tarom**
48.7c	14a	74.2b	69a	**Gohar**
48.3c	14a	87.7a	69.2a	**Hashemi**
				Dryer
51.7a	14.8a	67.9b	66.8a	**Traditional**
52.3a	14.3a	73.2a	66.7a	**Intelligence**

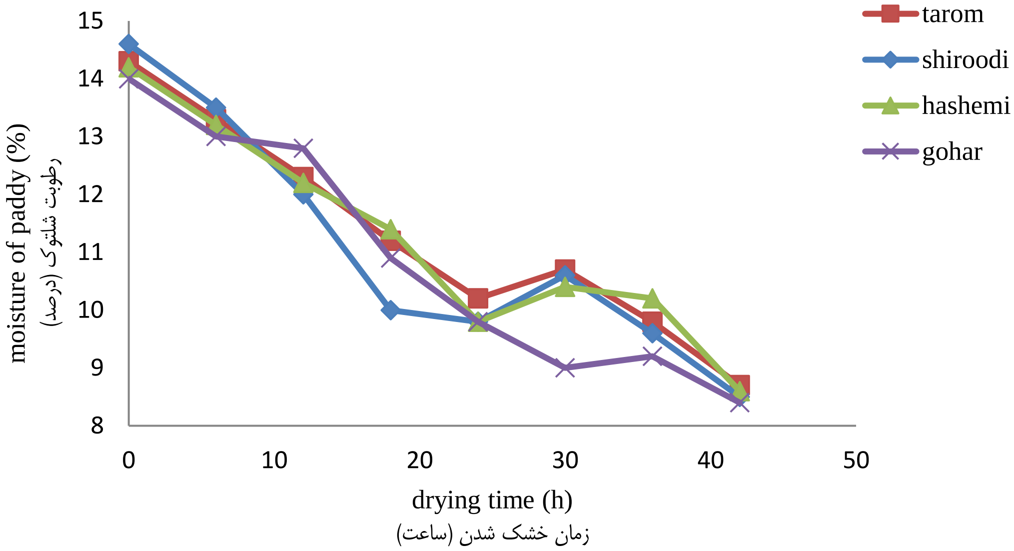
Same letters have not significant difference at the column

جدول ۳- مقایسه میانگین سفیدی ارقام در دو نوع خشک‌کن

Table 3- Mean comparison of whitness in two dryer

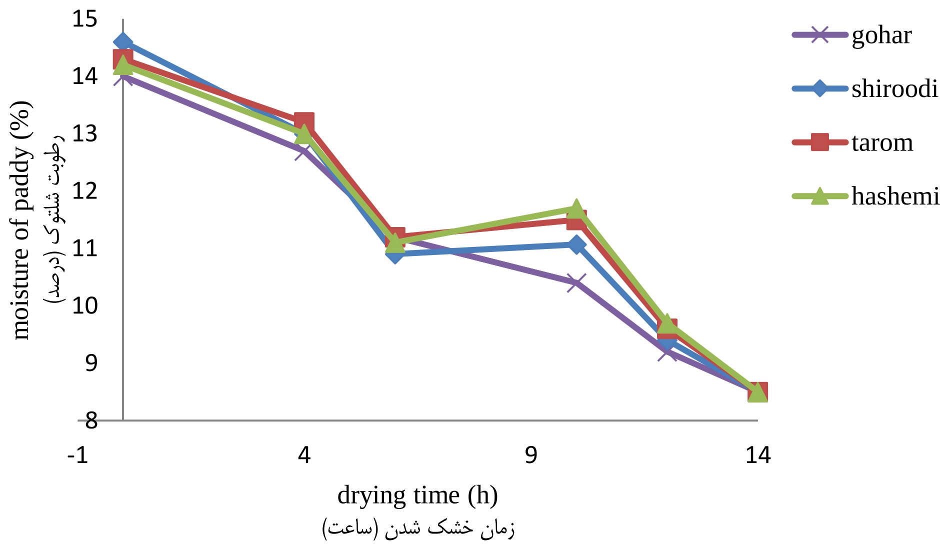
Mean of varietes	Gohar	Shiroodi	Tarom	Hashemi	Dryer
51.7a	49.2a	56.6a	54.5a	46.1b	**Traditional**
52.3a	48.2a	57a	53.9a	50.6a	**Intelligence**

اثر نوع رقم و خشک‌کن بر راندمان برنج سالم معنادار بود (جدول ۱). بیشترین راندمان برنج سالم به رقم طارم هاشمی و کمترین به رقم شیرودی تعلق داشت (جدول ۲). خشک‌کن هوشمند نیز ۵٪ راندمان برنج سالم بالاتری نسبت به خشک‌کن رایج داشت. به اثر نوع رقم و نوع خشک‌کن بر راندمان برنج سالم و درصد شکستگی اشاره شده است (Fan et al., 2000; Kent, 1982). در تحقیقات Gazor و Moumeni (۲۰۱۹) درصد شکستگی در خشک‌کن جریان‌گردشی نسبت به خشک‌کن سنتی ۵٪ کاهش و در تحقیق Gazor و Alizadeh (۲۰۲۰) نیز درصد شکستگی در خشک‌کن دوار نسبت به خشک‌کن سنتی ۷٪ کاهش یافته بود. افزایش نسبت برنج سالم در خشک کن‌های جریان گردشی، دوار و بستر خوابیده مجهز به همزن را می‌توان به کاهش تنش های حرارتی وارد بر دانه در اثر یکنواختی در فرآیند خشک‌کردن نسبت داد (Moumeni and Gazor, 2019Alizadeh and Gazor, 2020;).



شکل ۲- رابطه بین مدت زمان خشکاندن و درصد رطوبت شلتوک در خشک‌کن رایج

Fig. 2. Change of moisture content of paddy with drying time in traditional dryer



شکل ۳- رابطه بین مدت زمان خشکاندن و درصد رطوبت شلتوک در خشک‌کن هوشمند

Fig. 3. Change of moisture content of paddy with drying time in intelligence dryer

هیچ کدام از نوع رقم و نوع خشک‌کن تاثیر معنی‌داری بر درصد ترک دانه نداشتند. با وجود بالاتر بودن برنج سالم در خشک‌کن هوشمند، میزان ترک با دو خشک‌کن تفاوت معناداری نداشت. الزاما بین میزان ترک و برنج سالم ارتباط مستقیمی وجود ندارد (Aquerreta et al., 2007; Latifi, 2011).

درجه سفیدی ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۱). بیشترین سفیدی مربوط به رقم شیرودی و کمترین مربوط به رقم طارم هاشمی بود (جدول ۲). نوع خشک‌کن تاثیر معناداری بر سفیدی رنگ ارقام نداشت. اثر متقابل رقم و نوع خشک‌کن بر سفیدی رنگ معنادار شد زیرا فقط در رقم طارم هاشمی سفیدی در خشک‌کن رایج به طور معنی‌داری کمتر از خشک‌کن هوشمند شده بود در صورتی که در سه رقم دیگر سفیدی رنگ دانه در دو نوع خشک‌کن تقریبا مانند هم بود (جدول ۳). البته به دلیل زمان بیش‌تر خشک‌شدن در خشک‌کن‌های رایج و احتمال رخدادن واکنش‌های مایلارد که ترکیب پروتئین و قندهای موجود در دانه در اثر حرارت می‌باشد (Lamberts et al., 2006)، انتظار تغییر رنگ و کاهش سفیدی در خشک‌کن رایج می‌رود اما در کل اثر خشک‌کن بر سفیدی معنادار نبود (جدول ۱). Mehdizadeh و Zomorrodian (۲۰۰۸) نیز به افزایش سفیدی رنگ برنجی که با خشک‌کن خورشیدی در مدت زمان کمتری نسبت به روش خشک‌کردن طبیعی در آفتاب بدست آمده بود اشاره داشتند (Mehdizadeh and Zomorrodian, 2008).. اما در مطالعه Gazor و Moumeni (۲۰۱۹) سفیدی رنگ رقم یک نوع طارم در خشک‌کن رایج حتی مقداری بیشتر از خشک‌کن جریان‌گردشی شده بود با وجود آنکه زمان خشک‌کردن در خشک‌کن جریان گردشی به نصف کاهش یافته بود (Moumeni and Gazor, 2019).

مدت زمان خشک‌کردن شلتوک

نمودار رابطه بین مدت زمان خشک‌کردن و رطوبت شلتوک (بر پایه وزن تر) در دو نوع خشک‌کن رایج و هوشمند در ارقام مورد آزمایش به‌ترتیب در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. رطوبت شلتوک در ارقام شیرودی، طارم، هاشمی و گوهر به‌ترتیب از ۱۴/۶، ۱۴/۱۴،۲/۳ و ۱۴/۰ درصد به ۸/۵ درصد در هر دو خشک‌کن کاهش یافته است که مدت زمان آن در خشک‌کن رایج ۴۳/۱ ساعت و در خشک‌کن هوشمند ۱۴/۲ ساعت بوده است. یعنی زمان خشک کردن در خشک‌کن هوشمند به یک سوم کاهش یافت و میانگین نرخ خشک کردن برای چهار رقم در خشک‌کن رایج ۰/۱۳۵ و در خشک‌کن هوشمند ۰/۴۱۲ درصد بر ساعت بوده است. در خشک‌کن هوشمند، هوای گرم از دو مسیر یکی از زیر شبکه مشبک و دیگری از طریق محور دمنده‌ها که به صورت مشبک می‌باشد، به داخل توده شلتوک جریان می‌یابد. این امر از یک سو و جابجایی و بهم‌زدن شلتوک‌ها توسط همزن‌ها از سوی دیگر باعث جذب سریعتر رطوبت توسط هوای گرم شده و از این طریق خشک‌شدن شلتوک تا سطح رطوبت نهایی در زمان کمتری انجام شد. به کاهش زمان خشک‌شدن شلتوک در خشک‌کن‌های ساخته‌شده در مقایسه با نوع متداول به دلیل بهم‌خوردن محصول و افزایش سرعت خشک‌شدن آن اشاره شده است (Gharnasi Gharavi et al., 2017; Tahmasbi et al., 2008).

نتیجه‌گیری

طراحی و ساخت این نوع خشک‌کن با همزن علاوه بر کاهش زمان خشک‌کردن به یک سوم زمان مورد نیاز در سیستم‌های رایج و به تبع آن کاهش مصرف انرژی، سبب افزایش راندمان برنج سالم تا ۵٪ و گاهی هم افزایش سفیدی رقم شده بود. این خشک‌کن می‌تواند جایگزین مناسبی برای کارخانه‌های قدیمی باشد که فضای مناسبی برای نصب خشک‌کن جریان گردشی و یا رقبتی برای تغییرات اساسی در خط تولید ندارند.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی با شماره ۰۰۴۰۴۹۳۱۰۶ بوده است و با مشارکت موسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران انجام شده است.

منابع

1. Alizadeh, M.R. and Habibi, F. (2016). A comparative study on the quality of the main and ratoon rice crops. *Food Quality*, 39, 669-674. https://doi.org/10.1111/jfq.12250
2. Aquerreta, J., Iguaz, A., Arroqui, C., and Virseda, P. (2007). Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. *Food Engineering*, 80, 611-618. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.012
3. Battacharya, K. R. (1980). Breakage of rice during milling. *A Review Trop. Sci*. 22, 225.
4. Brooker, D. B., F. W. Baker Arkema, and C. W. Hall. (1992). Drying and storage of grains and oilseeds. New York, U.S.A. AVI Book publisher.
5. Fan, J., Siebenmorgen, T.J. and Yang, W. (2000). A study of head rice yield reduction of long and medium grain rice varieties in relation to various harvest and drying conditions. *Transactions of the ASABE*, 43 (6), 1709-1714.

6. Gazor, H. R. And Alizadeh, M.R. (2020). Comparison Influence of Rotary Dryer on Paddy (Hashemi Var.) Drying and Rice Milling Quality. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 21(74), 17-32. (In Persian).
7. Gazor, H. R. And Moumeni, A. (2019). Comparison of the Paddy Drying Process and Milling Quality between Re-circulating and Conventional Batch Type Dryers. Journal of Agricultural Machinery, 9(2), 365-374. (In Persian).
8. Gharnasi Gharavi, O., Shamsabadi, H. A., Afkarisayyah, A. H., Askari, A. and Rasekh, M. (2017). Optimization of paddy rice drying using response surface methodology. *EJFPP*, 10(1), 99-116. (In Persian).
9. Hall, C. W. (1970). Handling and storage of food grains in tropical and subtropical areas. FAO Agriculture Development paper No. 90.
10. Iguaz, A., Rodrigues, M. and Viseda, P. (2006). Influence of handling and processing of rough rice on fissures and head rice yields. *Food Engineering*, 77, 803-809. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.006
11. Kent, N.L. (1982). Technology of cereals an introduction for students of food science and agriculture. Third edition. London, UK: Pergamum Press.
12. Kocsis L., I. Keppler, M. Herdovics, L. Fenyvesi, and I. Farkas. (2011). Investigation of moisture content fluctuation in mixed flow dryer. *Agronomy Research Biosystem Engineering*, Special Issue, 1, 99-105.
13. Lamberts, L., Brijs, K., Mohamed, R., Verhelst, N. and Delcour, J. A. (2006). Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. *Agricultural and Food Chemistry*, 54, 9924-9929. https://doi.org/10.1021/jf062140j
14. Latifi, A. (2011). Effect of drying temperature and paddy final moisture on milling quality of three rice varieties. *Agronomy Journal* (Pajouhesh & Sazandegi), 102, 71-75. (In Persian).
15. Mehdizadeh, Z. And Zomorrodian, A. (2008). Study effect of solar drying method on rice quality. International *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11(5). (In Persian).
16. Mondoza, E.E. and Rigor, A. C. (1983). Quality deterioration in on- farm level of operation. Napier project. *Research Report of Food Terminal Inc*.
17. Pan, Z., Khir, R., Godfrey, L.D., Lewis, R., Thompson, J. F., and Salim, A. (2008). Feasibility of simultaneous rough rice drying and disinfections by infrared radiation heating and rice milling quality. *Food Engineering*, 84, 469-479.
18. Sabori, S. (2001). Proper height in fix bed dryer of paddy. Rice research report. (In Persian).
19. Siebenmorgen, T. J., Qin, G., and Jia, C. (2005). Influence of drying on rice fissures formation rates and mechanical strength distributions. *Transactions of the ASABE*, 48, 1835-1841.
20. Soponronnarit, S., Chiawwet, M., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P. and Taechapairoj, C. (2008). Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. *Food Engineering*, 85, 268- 276. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.023
21. Tahmasbi, H. A., Mousavi, S. H., Hamedghafarian, M. R. and Davoodi, M. (2008). Drying rice paddy with continuous vibrating tray and comparing it with semi-continuous column dryer, *12th National Congress of Chemical Engineering*. (In Persian).
22. Tajadoditalab, K. (2010). Effect of drying temperature and final moisture of paddy on rice quality and cooking with abrasive whitener. *Rice research report*. (In Persian).
23. Zhang, Q., Yang, W., Sun, Z. and Siebenmorgen, T. J. (2002). A study of rice kernel fracture by three point bending tests. Dept of food science report, Univ. of Arkansas.
24. Zheng, X. and Lan, Y. (2007). Effects of Drying Temperature and Moisture Content on Rice Taste Quality. *The Proceedings of the 5th Asia-Pacific Drying Conference*, 13– 15 August, Hong Kong. https://doi.org/10.1142/9789812771957_0162